



Espacenet

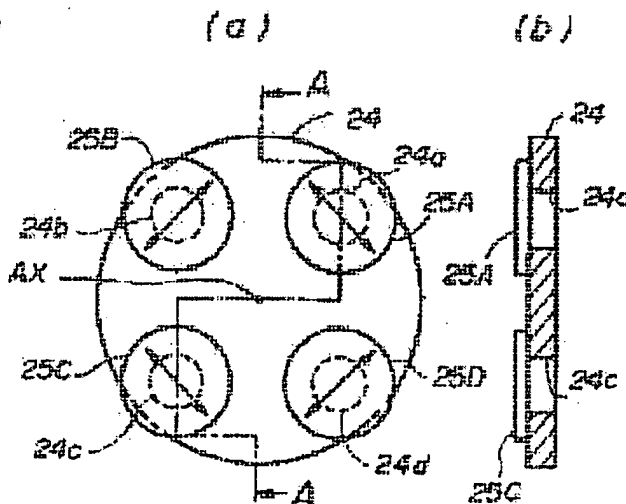
Bibliographic data: JP 3246615 (B2)

ILLUMINATING OPTIC DEVICE

Publication date: 2002-01-15
Inventor(s): SHIBUYA MASATO
Applicant(s): NIKON CORP
Classification:
 - international: G03F7/20; H01L21/027; (IPC1-7): G03F7/20; H01L21/027
 - European: G03F7/20T12; G03F7/20T14
Application number: JP19920219782 19920727
Priority number(s): JP19920219782 19920727
Also published as: • JP 6053120 (A)

Abstract of JP 6053120 (A)

PURPOSE: To improve image contrast for oblique illumination performed by a plurality of illuminating devices when a reticle pattern is a line-and-space pattern whose lengthwise direction is vertical to the incident plane of the illuminating light.
CONSTITUTION: Four apertures 24a-24d of a space filter as a secondary light source forming part are covered with a polarizing plates 25A-25D and the polarizing direction of the polarizing plates 25A-25D is set in the direction of the tangential line of a circumference whose axis is an optical axis AX.



Last updated:
 26.04.2011 Worldwide
 Database 5.7.22; 92p

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

(57) [Claim(s)]

[Claim 1]In an illumination optical device illuminated uniformly, a predetermined region on an object by illumination light from an illumination-light study system said illumination-light study system, An illumination optical device changing tilted light means forming which forms tilted light which illuminates said predetermined region from an oblique direction, and said tilted light which illuminates said predetermined region from an oblique direction, and having a polarization means which forms illumination light which carries out linear polarization in the direction which intersected perpendicularly to an entrance plane of this tilted light.

[Claim 2]In an illumination optical device which has a light source which supplies illumination light, and a condensing optical system which illuminates a predetermined region on an object uniformly by this illumination light, Tilted light means forming which forms tilted light which forms a secondary light source which carried out eccentricity to an optic axis of said condensing optical system by said illumination light, and illuminates said predetermined region from an oblique direction is arranged between said light source and said condensing optical system, An illumination optical device having changed said tilted light which illuminates said predetermined region from an oblique direction, and having arranged a polarization means which forms illumination light which carries out linear polarization in the direction which intersected perpendicularly to an entrance plane of this tilted light between said tilted light means forming and said condensing optical system.

[Claim 3]The illumination optical device according to claim 1 or 2, wherein said tilted light means forming has the 1st polyhedral prism that has a crevice, and the 2nd polyhedral prism that has heights.

[Claim 4]An exposure device having the illumination optical device according to claim 1 or 2 which illuminates a reticle as said object, and a projection optical system which projects a pattern image of said reticle on a sensitized substrate.

[Claim 5]An exposure method illuminating a reticle as said object using the illumination optical device according to claim 1 or 2, and transferring a pattern of said reticle.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]This invention is applied to the illumination system of the projection aligner used when manufacturing a semiconductor device or a liquid crystal display element, for example, and relates to a suitable illumination optical device.

[0002]

[Description of the Prior Art]When manufacturing a semiconductor device or a liquid crystal display element using photolithography technology, the projection aligner which transfers a photo mask or the pattern of a reticle (it is hereafter named a "reticle" generically) on a sensitized substrate is used. In this projection aligner, it is required with high integration of a semiconductor device etc. that a more detailed pattern should be printed with high resolution. The phase shift reticle method for using the cross protection of the light from the area pellucida from which the pattern space of a reticle differs as a method of realizing this is indicated by JP,S62-50811,B. If this method is applied to a line and space image, the zero-order diffracted light will be lost fundamentally, and it becomes the image formation only by the primary [**] diffracted light, and a line and space image more detailed than the case of the conventional reticle can be printed in high resolution also by the projection optical system of the same numerical aperture.

[0003]An illumination-light study system is devised as another approach for raising resolution more, The method which is high resolution and can be printed with the comparatively deep depth of focus in a detailed pattern is proposed by these people (for example, March, 1992 applied physics relation union lecture meeting proceedings 30-a-NA-3, four references). Below, the method is called "two or more oblique illumination method", and is explained per the method with reference to drawing 8. In [drawing 8 (a) first shows the equivalent light source parts 10, such as a secondary light source part in the illumination-light study system which applied two or more oblique illumination method, and] this drawing 8 (a), In accordance with the symmetrical axis, the four small light sources 11A-11D are arranged about axis x' which crosses at 45 degrees to the x axis and the y-

axis which form a rectangular coordinate system, respectively and this axis x' , and the y -axis. In the case of the line and space pattern in which the pattern of the reticle made into a transfer object has long edge mainly parallel to a x axis, or long edge parallel to the y -axis, the arrangement of these small light sources 11A-11D is suitable.

[0004]In [drawing 8 (b) shows the outline composition of the projection aligner which uses the equivalent light source part 10 of that drawing 8 (a) as a light source, and] this drawing 8 (b), The chief ray 15A of the illumination light from the small light source 11A of the equivalent light source part 10 is aslant irradiated by the reticle 12 to the optic axis AX via the condenser-lens system which carried out figures omitted abbreviated. The equivalent light source parts 10 are the pupil surface (entrance pupil side) 10A of the projection optical system 13, and conjugate, and the aperture diaphragm 13a is formed in this pupil surface. The zero-order diffracted light (this is also expressed with the mark 15A) and the primary diffracted light 16A are ejected from the reticle 12 almost symmetrically to the optic axis AX, and these zero-order diffracted light 15A and the primary diffracted light 16A enter **** into the wafer 14 as a sensitized substrate by the almost same incidence angle θ in the projection optical system 13. In this case, in order that the zero-order diffracted light 15A and the primary diffracted light may receive in optic-axis AX and may pass through the neighborhood of a periphery of a pupil symmetrically, the resolution to the performance limit of the projection optical system 13 is obtained.

[0005]In the system into which the zero-order diffracted light enters at right angles to the wafer 14 like before, since the wavefront aberration of the zero-order diffracted light to the defocusing amount of the wafer 14 differs from the wavefront aberration of other diffracted lights greatly, the depth of focus is shallow. On the other hand, in the composition of drawing 8 (b), since the zero-order diffracted light and the primary diffracted light enter into the wafer 14 by an equal incidence angle, the depth of focus on which a phase etc. spread the wavefront aberration of the zero-order diffracted light in case the wafer 14 is before and behind the focal position of the projection optical system 13, and the primary diffracted light is deep.

[0006]

[Problem to be solved by the invention]It is effective if it is the line and space pattern 8 of x shaft orientations or y shaft orientations in the two or more oblique illumination method. On the other hand, as shown in drawing 9, long edge to a x axis or the y -axis in the case of the line and space pattern 9 of a 45-degree direction, Supposing 10A is a pupil of a projection optical system, the diffracted light from small 2 [11B and 11D] of the four small light sources 11A-11D of drawing 8 (a), Only the zero-order diffracted lights 15B and 15D pass the pupil 10A of a projection lens, and in order that the primary [**] diffracted lights 16B and 16D may not pass the pupil 10A, they will not form a pattern on the wafer 14 and will only illuminate the wafer 14 uniformly. As a result, the contrast of the pattern on the wafer 14 will fall.

[0007]Easy numerical computation shows this. Strength of the primary [**] diffracted light to

strength of the zero-order diffracted light is set to a , and it is considered that each small light sources 11A-11D are the point light sources. At this time, image-intensity-distribution $I(x)$ on a x axis in the case of a line and space pattern long to y shaft orientations is as follows as the sum of image intensity distribution by each small light source.

[Mathematical formula 1]

$$I(x) = 4 \{ 1 + a^2 + 2a \cos[(4\pi/\lambda) (\sin\theta) x] \}$$

[0008] Here, as the incidence angle θ is shown in drawing 8 (b), the zero-order diffracted light or the primary [**] diffracted light is the optic axis AX and an angle to make. On the other hand, when x' axis is set as an axis of coordinates of the direction of 45 degree in the case of a line and space pattern long in a direction which intersects a x axis or the y -axis at 45 degrees, the intensity distribution $I(x')$ is as follows.

[Mathematical formula 2]

$$I(x') = 2 \{ 1 + a^2 + 2a \cos[(4\pi/\lambda) (\sin\theta) x] \} + 2 \{ 1 \}$$

$$= 4 \{ 1 + (a^2/2) + a \cos[(4\pi/\lambda) (\sin\theta) x] \}$$

[0009] It is as follows when it asks for (several 1) and (several 2) to the contrast C_x of each intensity distribution and $C_{x'}$.

[Mathematical formula 3]

$$C_x = 2a/(1+a^2), C_{x'} = a/(1+a^2/2)$$

[0010] In this case, a following formula is materialized.

$$C_x - C_{x'} = a / \{ (1+a^2) (1+a^2/2) \} > 0, \text{ therefore a following formula are materialized.}$$

[Mathematical formula 4] $C_x > C_{x'}$ [0011] Therefore, a fall of contrast of a long pattern is shown in the direction which intersects a x axis at 45 degrees. For example, since the strength a of the primary [**] diffracted light is set to $2/\pi$ when width of a line and a space is equal, it becomes like a following formula.

$C_x = 0.906, C_{x'} = 0.529$ [0012] Although above-mentioned explanation explained a case of two or more oblique illumination method as an example, even when zona-orbicularis illumination etc. are used, for example, to improve contrast of an image more is desired. In an exposure method which uses an illumination optical device and such an illumination optical device which illuminate a reticle etc. using positively illumination light toward which this invention inclined to an optic axis in view of this point, When patterns, such as the reticle, are line and space patterns which make a longitudinal direction a direction vertical to an entrance plane of the illumination light, It aims at enabling it to improve contrast of the image with a device by the side of an illumination optical device, when patterns, such as the reticle, are projected by a projection optical system.

[0013]

[Means for solving problem] In the illumination optical device in which the 1st illumination optical device by this invention illuminates the predetermined region on an object (12) uniformly by the illumination light from an illumination-light study system as shown, for

example in drawing 3, The tilted light means forming (24) in which the illumination-light study system forms the tilted light (27B, 27C) which illuminates the predetermined region from an oblique direction, That (oblique illumination is carried out) tilted light that illuminates that predetermined region from an oblique direction is changed, and it has a polarization means (25B, 25C) which forms the illumination light which carries out linear polarization in the direction which intersected perpendicularly to the entrance plane of this tilted light.

[0014]In the illumination optical device with which the 2nd illumination optical device has a light source (20) which supplies the illumination light, and a condensing optical system (26) which illuminates the predetermined region on an object (12) uniformly by this illumination light as shown, for example in drawing 3, The tilted light means forming (24) which forms the tilted light which forms the secondary light source which carried out eccentricity to the optic axis of the condensing optical system by the illumination light, and illuminates the predetermined region from an oblique direction is arranged between the light source (20) and its condensing optical system (26), That (oblique illumination is carried out) tilted light that illuminates that predetermined region from an oblique direction is changed, and the polarization means (25B, 25C) which forms the illumination light which carries out linear polarization in the direction which intersected perpendicularly to the entrance plane of this tilted light is arranged between that tilted light means forming (24) and its condensing optical system (26). In this case, that tilted light means forming may have the 1st polyhedral prism (32) that has a crevice, and the 2nd polyhedral prism (33) that has heights. The exposure device of this invention has a projection optical system (13) which projects the illumination optical device and the pattern image of a reticle of this invention which illuminates the reticle as the object on a sensitized substrate. The exposure method by this invention illuminates the reticle as the object using the illumination optical device of this invention, and transfers the pattern of the reticle.

[0015]

[Function]Hereafter, the illumination light from four small light sources which carried out eccentricity per principle of this invention explains taking the case of two or more oblique illumination method which illuminates an object. First, according to the 1st illumination optical device of this invention, as shown, for example in drawing 3, The tilted light (27B, 27C) which illuminates an objective (12) predetermined region from an oblique direction is formed, and linear polarization (an electric vector vibrates in the direction vertical to an entrance plane) of these tilted light (27B, 27C) is carried out in the direction vertical to the entrance plane (space) to an object (12), respectively. Linear polarization means the state where the vibrating direction of the electric vector of a light wave is in 1 flat surface, and the vibrating direction of an electric vector is defined as the direction of linear polarization. With an entrance plane, when light reaches the interface of a medium, it is defined as a field including the normal of the field in the point, and the incident direction of light. If the illumination optical device of the drawing 3 is simplified, it will become like drawing 1.

[0016]In [drawing 1 (a) shows the equivalent light source parts 10, such as a secondary

light source part of the illumination optical device of drawing 3, and] this drawing 1 (a), In accordance with the symmetrical axis, the four small light sources 11A-11D are arranged about axis x' which crosses at 45 degrees to the x axis and the y -axis which form a rectangular coordinate system, respectively and this axis x' , and the y -axis.

[0017]Drawing 1 (b) shows the outline composition of the projection aligner which used the illumination optical device of that drawing 3, and its equivalent light source part 10 is equal to the equivalent light source part of drawing 1 (a) in this drawing 1 (b). The chief ray 15A of the exposing light from the small light source 11A of the equivalent light source part 10 is aslant irradiated by the reticle 12 to the optic axis AX via the condenser-lens system which carried out figures omitted abbreviated. The chief ray 15A corresponds to the tilted light (27B, 27C) of drawing 3. Since the entrance plane of the chief ray 15A is parallel to the space of drawing 1 (b), according to this invention, linear polarization (an electric vector vibrates in the direction vertical to space) of the chief ray 15A is carried out in the direction vertical to the space of drawing 1 (b), and it enters into the reticle 12. Similarly, in drawing 1 (a), linear polarization of the light from each small light sources 11B-11D is carried out in the direction, i.e., the direction vertical to the entrance plane to the reticle 12, of the arrow of drawing 1 (a), and it enters into the reticle 12 of drawing 1 (b).

[0018]The zero-order diffracted light (this is also expressed with the mark 15A) and the primary diffracted light 16A from the reticle 12 enter on the wafer 14 through the projection optical system 13. First, supposing the pattern formed in the reticle 12 is a line and space pattern long in a direction parallel to the x axis or the y -axis of drawing 1 (a) which is a suitable pattern for a conventional example, Since the polarization direction is the direction of 45 degree to the pattern, the illumination light diffracted by the x direction or the y direction with the pattern is in the same image formation situation as random polarization. Therefore, contrast is the same as a conventional example.

[0019]On the other hand, supposing the pattern formed in the reticle 12 is the line and space pattern 9 long in a direction vertical to x' axis of drawing 1 (a), the primary diffracted light of the illumination light 15A from the small light source 11A will enter in the pupil of the projection optical system 13. In drawing 1 (b), x' axis is space and parallel. Here, as shown in drawing 1 (b), the zero-order diffracted light 15A and the primary diffracted light 15B of the illumination light 15A are S polarization (light to which an electric vector vibrates in the direction vertical to the space of drawing 1 (b)) with both polarization directions (direction in which an electric vector vibrates) parallel on the surface of the wafer 14. Therefore, it becomes larger than the time of the cross protection on the wafer 14 being random polarization, and the image of high contrast is made. For this reason, when it diffracts in the direction of x' , and a part of diffracted light comes out of a pupil, the conventional inconvenience that contrast falls will be compensated [as explained using drawing 9,].

[0020]Here, the difference of the intensity distribution by a polarization direction is described below briefly. Drawing 2 has shown the situation the image surface, i.e., near the surface of the wafer 14, using P polarization (light which has a vibrating direction of an

electric vector in an entrance plane), and S polarization (light with a vibrating direction of an electric vector vertical to an entrance plane). When the incidence angle of the zero-order diffracted light 15A and the primary diffracted light 16A is made into θ_0 and θ_1 , respectively, intensity distribution $I_s(x)$ on the image surface in S polarization is briefly shown as follows using amplitude distribution $U_s(x)$.

[Mathematical formula 5]

$$I_s(x) = |U_s(x)|^2 \text{ and } V_s(x) = a_0 \text{ and } \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] + a_1 \text{ and } \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x]$$

[0021] Therefore, intensity distribution $I_s(x)$ is as follows.

[Mathematical formula 6]

$$I_s(x) = a_0^2 + a_1^2 + 2a_0a_1 \cos[(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x]$$

Here, coefficient a_0 and a_1 are the strength (amplitude) of the zero-order diffracted light and the primary diffracted light, respectively. In the case of the line and space pattern which has a pitch in the direction of x' , since, as for two, only the zero-order diffracted light passes the projection optical system 13 among four small light sources, contrast C_s of S polarization is as follows.

[Mathematical formula 7] $C_s = 2a_0a_1 / (2a_0^2 + a_1^2)$

[0022] On the other hand, in P polarization, x ingredient and z ingredient of polarization must be considered. A following formula will be obtained, if amplitude distribution $U_p(x)$ on the image surface in P polarization is expressed with a vector and x ingredient and z ingredient are shown.

[Mathematical formula 8]

$$U_p(x) = (a_0 \text{ and } \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] - \cos\theta_0 + a_1 \text{ and } \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x] - \cos\theta_1) \text{ and } (a_0 \text{ and } \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] - \sin\theta_0 + a_1 \text{ and } \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x] - \sin\theta_1)$$

[0023] Therefore, intensity distribution $I_p(x)$ on the image surface in P polarization is as follows.

[Mathematical formula 9]

$$I_p(x) = |U_p(x)|^2 = a_0^2 + a_1^2 + 2a_0a_1x(\cos\theta_0\cos\theta_1 + \sin\theta_0\sin\theta_1) \times \cos[(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x]$$

[0024] Therefore, the contrast C_p in P polarization is as follows.

[Mathematical formula 10]

$$C_p = 2a_0a_1 \cos(\theta_0 - \theta_1) / (2a_0^2 + a_1^2)$$

(Several 7) (several 10) is compared and, in P polarization, it turns out that contrast will be $\cos(\theta_0 - \theta_1)$ twice. For example, considering the case of $\sin\theta_0 = 0.4$ and

$\sin\theta_1 = -0.4$, it is set to $\cos(\theta_0 - \theta_1) = 0.68$, and, the case of P polarization, and in the case of S polarization, a big difference sticks. Since random polarization is considered to be an average with P polarization and S polarization, contrast is $= (1/2 + 0.68) 0.84$. [0025] Thus, a big difference arises in contrast by considering it as S polarization. That is, when the illumination light of a polarization condition like drawing 1 (a) is used, the increase in the contrast of about twenty percent is conventionally expected to a line and space pattern with parallel edge in the direction which crosses at 45 degrees to a x axis and the y-axis, and it turns out that it is effective in a minute pattern.

[0026] Although explained until now taking the case of two or more oblique illumination method, What is necessary is just to change into the light which carries out linear polarization of the light from the light source of the shape of zona orbicularis of the equivalent light source part 10 to a direction respectively vertical to an entrance plane, i.e., the tangential direction of the circle centering on an optic axis, as shown, for example in drawing 7 (a) if this invention is applied to for example, zona-orbicularis illumination.

[0027] Next, according to the 2nd illumination optical device of this invention, as shown, for example in drawing 3, the secondary light source which carried out eccentricity by the illumination light from a light source although tilted light is formed is formed. If it considers that the secondary light source is the equivalent light source 10 of drawing 1 (a), above-mentioned explanation will be applied also to this invention as it is.

[0028]

[Working example] Hereafter, with reference to drawing 3 and drawing 4, it explains per 1st embodiment of this invention. This example applies this invention to the illumination-light study system of a projection aligner. Drawing 3 shows the illumination-light study system of the projection aligner of this example, the illumination light from the light source 20 which consists of mercury lamps is condensed with the elliptic mirror 21 in this drawing 3, and this condensed illumination light enters into the fly eye lens 23 (optical integrator) via the collimating lens 22. The secondary light source of surface state is formed in the focal plane by the side of an injection of the fly eye lens 23 (reticle side).

[0029] The spatial filter 24 in which four openings which carried out eccentricity to the optic axis AX were formed near the injection end of the fly eye lens 23 is formed. The polarizing plates 25A-25D are laminated on the reticle side (or it may be the light source 20 side) of four openings of this spatial filter 24, respectively. However, in drawing 3, only the polarizing plates 25B and 25C have appeared. As it is the front view with which drawing 4 (a) looked at the spatial filter 24 of drawing 3 from the reticle side, and a sectional view where drawing 4 (b) meets AA line of drawing 4 (a) and is shown in these drawing 4 (a) and (b), The four openings 24a-24d are formed in the spatial filter 24 at intervals of 90 degrees centering on the optic axis AX, and these openings are covered with the polarizing plates 25A-25D, respectively. The polarization direction of these polarizing plates 25A-25D is set as the tangential direction of the circumference centering on the optic axis AX, respectively, as an arrow shows. Therefore, linear polarization of the illumination light ejected from the

openings 24a-24d of the spatial filter 24 is carried out in the direction respectively almost parallel to the tangential direction of the circumference centering on the optic axis AX.

[0030]It returns to drawing 3 and four secondary light sources which carried out eccentricity to the optic axis AX with the spatial filter 24 are formed. The illumination light ejected from these four secondary light sources enters into the reticle 12 through the condenser-lens system 26, after passing the polarizing plates 25A-25D, respectively. The spatial filter 24 (polarizing plates 25A-25D) is formed in the front side focal (light source side focus) position of the condenser-lens system 26.

The pattern formation face of the reticle 12 has an arrangement surface of the spatial filter 24, and a relation of the Fourier transform about the condenser-lens system 26.

In this case, the chief rays 27B and 27C ejected, for example from the openings 24b and 24c of the spatial filter 24 enter aslant to the optic axis AX through the condenser-lens system 26 on the reticle 12, respectively. Linear polarization of these chief rays 27B and 27C is carried out in the vertical direction to the entrance plane (the direction of space) to the reticle 12, respectively.

[0031]If such an illumination-light study system is used, as principle explanation of this invention explained, For example, when the line and space pattern which has long edge in the parallel or vertical direction to the straight line which connects the openings 24a and 24c of drawing 4 (a) on the reticle 12 is formed, The pattern can be projected on the wafer 14 through the projection optical system 13 under good contrast rather than before. Here, the incident side and object face (the reticle 12 or wafer 14) of the fly eye lens 23 are constituted by conjugate, and the injection side (secondary light source 10) of the fly eye lens 23 and the pupil surface 10A of the projection optical system 13 are constituted from equipment of drawing 3 by conjugate. in addition -- arranging another big polarizing plate between [other than the composition of drawing 3] the fly eye lens 23 and the spatial filter 24 -- a part of four openings 24a-24d of the spatial filter 24 -- or -- boiling all and arranging 1/2 wavelength plate -- every -- it may be made to adjust the angle of rotation of 1/2 wavelength plate The illumination light which polarized also by this to the tangential direction of the circumference centering on the optic axis AX as shown in drawing 4 (a) is obtained. In this case, it is necessary to form 1/2 wavelength plate in no openings of the spatial filter 24 depending on the polarization direction of another big polarizing plate.

[0032]By using a laser light source that a laser beam of linear polarization is ejected, for example as a light source, What is necessary is just to form 1/2 wavelength plate of a suitable hand of cut for a part or all of the four openings 24a-24d of the spatial filter 24, in illuminating the whole spatial filter 24 of drawing 3 used as an equivalent light source by illumination light of linear polarization. In this case, although it is also good for some openings to form 1/2 wavelength plate, it is effective when a way in which 1/2 wavelength plate is formed reduces variation in Lighting Sub-Division to all openings. Thus, when a polarization direction is adjusted using 1/2 wavelength plate, since there is no loss of illumination light, illumination efficiency is good.

[0033]When illuminating the spatial filter 24 of drawing 3 used as an equivalent light source using equipment which generates illumination light of circular light as a whole, it is good to form 1/4 wavelength plate of a suitable hand of cut for each opening of the spatial filter 24.

[0034]Next, with reference to drawing 5, it explains per 2nd embodiment of this invention. Drawing 5 shows the projection aligner of this example, and the illumination light from the light source 20 becomes a parallel pencil mostly in this drawing 5 through the elliptic mirror 21, the bending mirror 28, and the input lens 29. Supply of the illumination light to the input lens 29 is suspended at any time by bending with that elliptic mirror 21, arranging the shutter 30 between the mirrors 28, and closing this shutter 30 with the drive motor 31. As the light source 1, the excimer laser etc. which generate a KrF laser beam etc., for example can be used out of a mercury lamp. When using an excimer laser, a beam expander etc. are used instead of the optical system to the elliptic mirror 21 - the input lens 29.

[0035]And the 2nd polyhedral prism 33 that has heights of the 1st polyhedral prism 32 and a four-sided pyramid type (pyramid type) which have a four-sided pyramid type (pyramid type) crevice sequentially from the input lens 29 is arranged. Illumination light ejected from this 2nd polyhedral prism 33 is divided into the circumference of an optic axis with equiangularity centering on an optic axis at four light flux.

[0036]Light flux divided into these four pieces is entered in the fly eye lenses 34A, 34B, 34C, and 34D of the 2nd group, respectively. Although only the fly eye lenses 34A and 34B are shown by drawing 5, on both sides of an optic axis, the two fly eye lenses 34C and 34D are arranged in the direction vertical to space of drawing 5. And light flux ejected from the fly eye lens 34A is mostly changed into a parallel pencil via a guide light study system which consists of the lens systems 35A and 36A, and enters into the fly eye lens 37A of the 1st group. Similarly light flux which ejected the fly eye lens 34B of the 2nd group, It is mostly changed into a parallel pencil via a guide light study system which consists of the lens systems 35B and 36B, and enters into the fly eye lens 37B of the 1st group, ** which carries out figures omitted abbreviated, and light flux which ejected the fly eye lenses 34C and 34D of the 2nd group enter into the fly eye lenses 37C and 37D of the 1st group via a guide light study system, respectively.

[0037]The fly eye lenses 37A-37D of the 1st group are arranged at intervals of 90 degrees around an optic axis. Although a secondary light source of surface state is formed in the reticle side focal plane of the fly eye lenses 37A-37D of the 1st group, respectively, the variable aperture diaphragms 38A-38D are arranged to a forming face of these secondary light sources, respectively. The polarizing plates 39A-39D are arranged, respectively to the reticle side of these variable aperture diaphragms 38A-38D. In drawing 5, only the variable aperture diaphragms 13A and 13B and the polarizing plates 39A and 39B have appeared.

[0038]It is moderately condensed through the auxiliary condenser lens 40, the mirror 41, and the main condenser lens 42, respectively, and illumination light which penetrated and ejected the polarizing plates 39A-39D from these variable aperture diaphragms 38A-38D illuminates the reticle 12 with almost uniform illumination. A pattern of the reticle 12 is

transferred with the predetermined reducing magnification beta according to the projection optical system 13 by the wafer 14 on wafer stage WS. A polarization direction of these polarizing plates 39A-39D is parallel to a tangential direction of the circumference centering on the optic axis AX. For example, the chief ray 43A of light flux which penetrates the polarizing plate 39A and is ejected from the variable aperture diaphragm 38A enters aslant to the optic axis AX on the reticle 12, where linear polarization is carried out in the direction vertical to space. The polarizing plates 39A-39D shown in drawing 5 are substantially formed in a front side focal (light source side focus) position of a condenser-lens system of a constructional system of the auxiliary condenser lens 40 and the main condenser lens. This position is the pupil surface 10A of the projection optical system 13, and conjugate substantially.

[0039]Also by this example, contrast of a projection image on the wafer 14 of a line and space pattern of the predetermined direction of [on the reticle 12] is improvable. Since the fly eye lenses 34A-34D of the 2nd group other than the fly eye lenses 37A-37D of the 1st group are formed, the homogeneity of illumination on the reticle 12 is improved further. In drawing 5, the polarizing plates 39A and 39B may be arranged in the positions 44A and 44B between relay optical systems, respectively, and also may be arranged in other positions. When illumination light from the light source 20 is already linear polarization, 1/2 wavelength plate may be used instead of the polarizing plates 39A and 39B.

[0040]Next, with reference to drawing 6 and drawing 7, it explains per 3rd embodiment of this invention. This example changes the spatial filter 24 of the 1st embodiment shown in drawing 3 explained previously, and shows an example which formed the spatial filter 240 which has the opening 240a of the shape of **** zona orbicularis shown in drawing 6 (a) in the injection side of the fly eye lens 23. By arrangement of this spatial filter 240, to the injection side of the fly eye lens 23. As shown in drawing 6 (a), the secondary light source 45 of the shape of zona orbicularis which carried out eccentricity from the optic axis AX is formed, and light from the secondary light source 45 of the shape of this zona orbicularis reaches the pupil surface 10A (entrance pupil side) of the projection optical system 13 via the condenser lens 26 and the reticle 12, as shown in drawing 3. If a situation of the zero-order diffracted light and the primary diffracted light by diffraction operation of a line and space pattern of the reticle 12 is considered here in order to explain simply, As shown in drawing 6 (b), the primary diffracted light 45B of the shape of zona orbicularis to which the strike slip of the zero-order diffracted light 45A of the shape of zona orbicularis [**** / the zona-orbicularis light source 45] and the zero-order zona-orbicularis-like diffracted light 45A was carried out is formed in the pupil surface 10A of this projection optical system 13.

[0041]In this case, in this example, as shown in drawing 7 (a), the polarizing plate 250 of the shape of zona orbicularis which polarizes the illumination light ejected from the secondary light source 45 of the shape of zona orbicularis of the equivalent light source part 10 to the tangential direction of the circumference centering on the optic axis AX,

respectively is formed on the spatial filter 240. Thereby, the image of high contrast can be acquired to a minute pattern. As shown in drawing 7 (b), the polarizing plates 250A-250H are formed on each zone using the spatial filter 240 with the opening which divides a zona-orbicularis-like light source into each circular zone, and it may be made to become the illumination light of the linear polarization of the tangential direction of the circumference centering on the optic axis AX for every zone.

[0042]As for this invention, it is needless to say that various composition can be taken in the range which is not limited to the above-mentioned embodiment and does not deviate from the summary of this invention.

[0043]

[Effect of the Invention]In this invention, the illumination light which inclines and enters to an object is polarizing in the direction vertical to an entrance plane.

Therefore, when the pattern on the object is a line and space pattern which makes a longitudinal direction a direction vertical to the entrance plane of the illumination light, and the pattern of the object is projected by a projection optical system, there is an advantage which can improve the contrast of the image substantially.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The figure showing the equivalent light source which presents explanation of the principle of the illumination optical device by this invention with (a), and (b) are the outline block diagrams showing the projection aligner which uses the equivalent light source of drawing 1 (a).

[Drawing 2] It is a figure with which explanation of the principle of this invention is presented.

[Drawing 3] It is a block diagram showing the illumination-light study system of the projection aligner of the 1st embodiment of this invention.

[Drawing 4] The front view in which (a) shows the spatial filter 24 and the polarizing plates 25A-25D of drawing 3, and (b) are sectional views which meet AA line of drawing 4 (a).

[Drawing 5] It is a block diagram showing the projection aligner of the 2nd embodiment of this invention.

[Drawing 6] They are a figure in which (a) shows the equivalent light source and the spatial filter 240 of the 3rd embodiment of this invention, and a figure showing the situation of the diffracted light in the pupil of the projection optical system 13 by (b) having used the spatial filter 240.

[Drawing 7] The figure in which (a) shows the polarization condition of the illumination light from the equivalent light source of the 3rd embodiment, and (b) are the figures showing the equivalent light source of the modification of the 3rd embodiment.

[Drawing 8] The figure in which (a) shows the equivalent light source of two or more oblique illuminations, and (b) are the figures showing the situation of the diffracted light in the pupil of the projection optical system 13 at the time of using the equivalent light source of drawing 8 (a).

[Drawing 9] It is a figure showing the case where two or more specific patterns are illuminated with oblique illumination.

[Explanations of letters or numerals]

10 Equivalent light source

11A-11D Small light source
12 Reticle
13 Projection optical system
14 Wafer
20 Light source
22 Collimating lens
23 Fly eye lens
24 Spatial filter
24a-24d Opening
25A-25D Polarizing plate
26 Condenser-lens system

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3246615号
(P3246615)

(45)発行日 平成14年1月15日(2002.1.15)

(24)登録日 平成13年11月2日(2001.11.2)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

請求項の数5(全 9 頁)

(21)出願番号 特願平4-219782

(22)出願日 平成4年7月27日(1992.7.27)

(65)公開番号 特開平6-53120

(43)公開日 平成6年2月25日(1994.2.25)

審査請求日 平成11年7月26日(1999.7.26)

(73)特許権者 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 渋谷 真人

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株
式会社ニコン 大井製作所内

(74)代理人 100098165

弁理士 大森 聡

審査官 南 宏輔

(56)参考文献 特開 平1-143216 (J P, A)

特開 平4-180612 (J P, A)

特開 平3-227512 (J P, A)

特開 平5-88356 (J P, A)

特開 平5-109601 (J P, A)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 照明光学装置、露光装置、及び露光方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光学系からの照明光によって物体上の所定領域を均一に照明する照明光学装置において、前記照明光学系は、前記所定領域を斜め方向から照明する傾斜光を形成する傾斜光形成手段と、前記所定領域を斜め方向から照明する前記傾斜光を変換して、該傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段とを有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 照明光を供給する光源と該照明光で物体上の所定領域を均一に照明する集光光学系とを有する照明光学装置において、前記照明光によって前記集光光学系の光軸に対し偏心した2次光源を形成して前記所定領域を斜め方向から照明する傾斜光を形成する傾斜光形成手段を前記光源と前記

2

集光光学系との間に配置し、

前記所定領域を斜め方向から照明する前記傾斜光を変換して、該傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段を前記傾斜光形成手段と前記集光光学系との間に配置したことを特徴とする照明光学装置。

【請求項3】 前記傾斜光形成手段は、凹部を有する第1多面体プリズムと凸部を有する第2多面体プリズムとを有することを特徴とする請求項1又は2に記載の照明光学装置。

【請求項4】 前記物体としてのレチクルを照明する請求項1又は2に記載の照明光学装置と、前記レチクルのパターン像を感光基板に投影する投影光学系とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項5】 請求項1又は2に記載の照明光学装置を

用いて前記物体としてのレチクルを照明し、前記レチクルのパターンを転写することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば半導体素子又は液晶表示素子等を製造する際に使用される投影露光装置の照明系に適用して好適な照明光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを感光基板上に転写する投影露光装置が使用されている。斯かる投影露光装置においては、半導体素子等の高集積化に伴い、より微細なパターンを高解像度で焼き付けることが要求されている。これを実現する方法として、レチクルのパターン領域の異なる透明部からの光の干渉効果を利用する位相シフトレチクル法が特公昭62-50811号公報に開示されている。この方法をライン・アンド・スペース像に応用すると基本的に0次回折光がなくなり、±1次回折光のみによる結像となり、同一の開口数の投影光学系でも従来のレチクルの場合よりも微細なライン・アンド・スペース像を高い解像度で焼き付けることができる。

【0003】また、より解像度を高めるための別のアプローチとして、照明光学系を工夫して、微細なパターンを高い解像度で且つ比較的深い焦点深度で焼き付ける方法が本出願人により提案されている（例えば1992年3月応用物理学関係連合講演会予稿集30-a-NA-3、4参照）。以下ではその方法を「複数傾斜照明法」と呼び、図8を参照してその方法につき説明する。先ず図8（a）は複数傾斜照明法を適用した照明光学系における2次光源部等の等価光源部10を示し、この図8（a）において、直交座標系を形成するx軸及びy軸に対してそれぞれ45°で交差する軸x'及びこの軸x'とy軸に関して対称な軸に沿って4個の小光源11A～11Dが配置されている。この小光源11A～11Dの配列は、転写対象とするレチクルのパターンが主にx軸に平行な長いエッジ又はy軸に平行な長いエッジを有するライン・アンド・スペースパターンの場合に適している。

【0004】図8（b）はその図8（a）の等価光源部10を光源とする投影露光装置の概略構成を示し、この図8（b）において、等価光源部10の小光源11Aからの照明光の主光線15Aが図示省略したコンデンサー*

$$I(x) = 4 \{1 + a^2 + 2a \cdot \cos[(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\}$$

【0008】ここで、入射角θは、図8（b）に示すように、0次回折光又は±1次回折光が光軸AXとなす角である。これに対して、x軸又はy軸に45°で交差する方向に長いライン・アンド・スペースパターンの場合※

$$I(x') = 2 \{1 + a^2 + 2a \cdot \cos[(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\}$$

* レンズ系を介してレチクル12に光軸AXに対して斜めに照射される。等価光源部10は投影光学系13の瞳面（入射瞳面）10Aと共役であり、この瞳面には開口絞り13aが設けられている。そのレチクル12からは0次回折光（これも符号15Aで表す）及び1次回折光16Aが光軸AXに対してほぼ対称に射出され、これら0次回折光15A及び1次回折光16Aは投影光学系13を経てをほぼ同一の入射角θで感光基板としてのウエハ14に入射する。この場合、0次回折光15Aと1次回折光とが光軸AXに対して対称に瞳の周縁近くを通過するため、投影光学系13の性能限界までの解像度が得られる。

【0005】また、従来のように0次回折光がウエハ14に垂直に入射する方式では、ウエハ14のデフォーカス量に対する0次回折光の波面収差と他の回折光の波面収差とが大きく異なることから、焦点深度が浅くなっている。これに対して、図8（b）の構成では、0次回折光と1次回折光とが等しい入射角でウエハ14に入射するため、ウエハ14が投影光学系13の焦点位置の前後にあるときの0次回折光と1次回折光との波面収差は相等しく、焦点深度が深くなっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】その複数傾斜照明法では、x軸方向又はy軸方向のライン・アンド・スペースパターン8であれば有効である。これに対して、図9に示すように、長いエッジがx軸又はy軸に対して45°の方向のライン・アンド・スペースパターン9の場合は、10Aが投影光学系の瞳であるとする、図8

（a）の4つの小光源11A～11Dのうちの2つの小光源11B及び11Dからの回折光は、0次回折光15B及び15Dのみが投影レンズの瞳10Aを通過し、±1次回折光16B及び16Dは瞳10Aを通過しないため、ウエハ14上でパターンを形成することなく、単にウエハ14を一様に照明することになる。その結果、ウエハ14上でのパターンのコントラストが低下することとなる。

【0007】このことを簡単な数値計算で示す。0次回折光の強さに対する±1次回折光の強さをaとし、各小光源11A～11Dは点光源とみなす。このとき、y軸方向に長いライン・アンド・スペースパターンの場合のx軸上の像強度分布I(x)は各小光源による像強度分布の和として次のようになる。

【数1】

※に、45°方向の座標軸をx'軸とすると、強度分布I(x')は次のようになる。

【数2】

$$+2\{1\} \\ =4\{1+(a^2/2)+a\cdot\cos[(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\}$$

【0009】(数1)及び(数2)から各々の強度分布のコントラスト C_x 及び $C_{x'}$ を求めると、次のように*

$$C_x=2a/(1+a^2), C_{x'}=a/(1+a^2/2)$$

【0010】この場合、次式が成立する。

$$C_x-C_{x'}=a/\{(1+a^2)(1+a^2/2)\}>0$$

従って、次式が成立する。

【数4】 $C_x>C_{x'}$

【0011】従って、 x 軸に 45° で交差する方向に長いパターンのコントラストの低下が示される。例えばラインとスペースとの幅が等しい場合には、 ± 1 次回折光の強さ a は $2/\pi$ となるので、次式のようになる。

$$C_x=0.906, C_{x'}=0.529$$

【0012】なお、上述の説明では複数傾斜照明法の場合を例として説明したが、例えば輪帯照明法等を使用した場合でも、像のコントラストをより改善することが望まれている。本発明は斯かる点に鑑み、光軸に対して傾斜した照明光を積極的に利用してレチクル等を照明する照明光学装置及びそのような照明光学装置を使用する露光方法において、そのレチクル等のパターンがその照明光の入射面に垂直な方向を長手方向とするライン・アンド・スペースパターンであるような場合に、投影光学系でそのレチクル等のパターンを投影したときに照明光学装置側の工夫でその像のコントラストを改善できるようにすることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の照明光学装置は、例えば図3に示すように、照明光学系からの照明光によって物体(12)上の所定領域を均一に照明する照明光学装置において、その照明光学系は、その所定領域を斜め方向から照明する傾斜光(27B, 27C)を形成する傾斜光形成手段(24)と、その所定領域を斜め方向から照明する(傾斜照明する)その傾斜光を変換して、この傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段(25B, 25C)とを有するものである。

【0014】また、第2の照明光学装置は、例えば図3に示すように、照明光を供給する光源(20)とこの照明光で物体(12)上の所定領域を均一に照明する集光光学系(26)とを有する照明光学装置において、その照明光によってその集光光学系の光軸に対し偏心した2次光源を形成してその所定領域を斜め方向から照明する傾斜光を形成する傾斜光形成手段(24)をその光源(20)とその集光光学系(26)との間に配置し、その所定領域を斜め方向から照明する(傾斜照明する)その傾斜光を変換して、この傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段(25B, 25C)をその傾斜光形成手段(24)とその集光光学系(26)との間に配置したものである。この場

*なる。

【数3】

合、その傾斜光形成手段は、凹部を有する第1多面体プリズム(32)と凸部を有する第2多面体プリズム(33)とを有するものでもよい。また、本発明の露光装置は、その物体としてのレチクルを照明する本発明の照明光学装置と、そのレチクルのパターン像を感光基板に投影する投影光学系(13)とを有するものである。また、本発明による露光方法は、本発明の照明光学装置を用いてその物体としてのレチクルを照明し、そのレチクルのパターンを転写するものである。

【0015】

【作用】以下、本発明の原理につき偏心した4個の小光源からの照明光で物体を照明する複数傾斜照明法を例にとって説明する。まず、本発明の第1の照明光学装置によれば、例えば図3に示すように、物体(12)の所定領域を斜め方向から照明する傾斜光(27B, 27C)が形成され、これら傾斜光(27B, 27C)はそれぞれ物体(12)に対する入射面(紙面)に垂直な方向に直線偏光(入射面に垂直な方向に電気ベクトルが振動)している。なお、直線偏光とは、光波の電気ベクトルの振動方向が一平面内にある状態を意味し、電気ベクトルの振動方向を直線偏光の方向と定義する。また、入射面とは、光が媒質の境界面に達した時に、その点での面の法線と光の入射方向とを含む面の事と定義する。その図3の照明光学装置を簡略化すると図1のようになる。

【0016】図1(a)は図3の照明光学装置の2次光源部等の等価光源部10を示し、この図1(a)において、直交座標系を形成する x 軸及び y 軸に対してそれぞれ 45° で交差する軸 x' 及びこの軸 x' と y 軸に関して対称な軸に沿って4個の小光源11A~11Dが配置されている。

【0017】図1(b)はその図3の照明光学装置を用いた投影露光装置の概略構成を示し、この図1(b)において、等価光源部10は図1(a)の等価光源部と等しい。その等価光源部10の小光源11Aからの露光光の主光線15Aが図示省略したコンデンサーレンズ系を介してレチクル12に光軸AXに対して斜めに照射される。その主光線15Aが図3の傾斜光(27B, 27C)に対応する。その主光線15Aの入射面は図1

(b)の紙面に平行であるため、本発明によれば、その主光線15Aは図1(b)の紙面に垂直な方向に直線偏光(紙面に垂直な方向に電気ベクトルが振動)してレチクル12に入射する。同様に、図1(a)において、各小光源11B~11Dからの光は、図1(a)の矢印の

方向即ち、レチクル12に対する入射面に垂直な方向に直線偏光して図1(b)のレチクル12に入射する。

【0018】また、レチクル12からの0次回折光(これを符号15Aで表す)及び1次回折光16Aは投影光学系13を経てウエハ14上に入射する。先ず、そのレチクル12に形成されたパターンが、従来例に好適なパターンである図1(a)のx軸又はy軸に平行な方向に長いライン・アンド・スペースパターンであるとする、そのパターンによりx方向又はy方向に回折された照明光は、偏光方向がそのパターンに対して45°方向であるので、ランダム偏光と同じ結像状況である。従って、コントラストは従来例と同様である。

【0019】これに対して、そのレチクル12に形成されたパターンが、図1(a)のx'軸に垂直な方向に長いライン・アンド・スペースパターンであるとする、小光源11Aからの照明光15Aの1次回折光が投影光学系13の瞳内に入ることになる。尚、図1(b)ではx'軸は紙面と平行になっている。ここで、図1

(b)に示すように、その照明光15Aの0次回折光1*

$$I_s(x) = |U_s(x)|^2, \\ V_s(x) = a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x]$$

【0021】従って、強度分布 $I_s(x)$ は次のようになる。 ※【数5】

$$I_s(x) = a_0^2 + a_1^2 \\ + 2a_0 a_1 \cdot \cos[(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x]$$

ここで、係数 a_0 及び a_1 はそれぞれ0次回折光及び1次回折光の強さ(振幅)である。x'方向にピッチを持つライン・アンド・スペースパターンの場合、4つの小光源の内、2つは0次回折光しか投影光学系13を通過しないのでS偏光のコントラスト C_s は次のようになる。

★

$$C_s = 2a_0 a_1 / (2a_0^2 + a_1^2)$$

【0022】一方、P偏光の場合は、偏光のx成分と、z成分とを考えなくてはならない。P偏光の場合の像面上の振幅分布 $U_p(x)$ をベクトルで表して、x成分とz成分とを示すと次式が得られる。

★【数8】

$$U_p(x) = (a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \cdot \cos\theta_0 \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x] \cdot \cos\theta_1, \\ a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \cdot \sin\theta_0 \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x] \cdot \sin\theta_1)$$

【0023】従って、P偏光の場合の像面上の強度分布 ☆【数9】

$I_p(x)$ は次のようになる。 ☆

$$I_p(x) = |U_p(x)|^2 \\ = a_0^2 + a_1^2 + 2a_0 a_1 \\ \times (\cos\theta_0 \cos\theta_1 + \sin\theta_0 \sin\theta_1) \\ \times \cos[(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x]$$

【0024】従って、P偏光の場合のコントラスト C_p ◆【数10】
は次のようになる。

$$C_p = 2a_0 a_1 \cos(\theta_0 - \theta_1) / (2a_0^2 + a_1^2)$$

(数7)と(数10)とを比較して、P偏光の場合は、コントラストが $\cos(\theta_0 - \theta_1)$ 倍となることが分かる。例えば、 $\sin\theta_0 = 0.4$ 、 $\sin\theta_1 = -0.4$ の場合を考えると、 $\cos(\theta_0 - \theta_1) = 0.68$ となり、P偏光の場合とS偏光の場合とでは大きな

* 5A及び1次回折光15Bは共に偏光方向(電気ベクトルの振動する方向)がウエハ14の表面で平行なS偏光(図1(b)の紙面に垂直な方向に電気ベクトルが振動する光)である。従って、ウエハ14上における干渉効果がランダム偏光のときよりも大きくなり、高コントラストの像が作られる。このため、図9を用いて説明したようにx'方向に回折された場合に、回折光の一部が瞳外に出てしまうことによりコントラストが低下するという従来の不都合が補われることになる。

10 【0020】ここで、偏光方向による強度分布の差を簡単に以下に述べる。図2では、像面、即ちウエハ14の表面付近の様子をP偏光(電気ベクトルの振動方向が入射面内にある光)とS偏光(電気ベクトルの振動方向が入射面と垂直な光)を用いて示してある。0次回折光15A及び1次回折光16Aの入射角をそれぞれ θ_0 及び θ_1 とすると、S偏光の場合の像面上の強度分布 $I_s(x)$ は振幅分布 $U_s(x)$ を用いて次のように簡単に示される。

【数5】

※【数6】

$$C_s = 2a_0 a_1 / (2a_0^2 + a_1^2)$$

【0022】一方、P偏光の場合は、偏光のx成分と、z成分とを考えなくてはならない。P偏光の場合の像面上の振幅分布 $U_p(x)$ をベクトルで表して、x成分とz成分とを示すと次式が得られる。

★【数8】

☆【数9】

◆【数10】

差がつく。ランダム偏光は、P偏光とS偏光との平均と考えられるので、コントラストは $(1/2)(1+0.68) = 0.84$ である。

【0025】このように、S偏光とすることにより、コントラストに大きな差が生じる。即ち、図1(a)のよ

うな偏光状態の照明光を使用すると、x 軸及び y 軸に対して 45° で交差する方向にエッジが平行なライン・アンド・スペースパターンに対して、従来よりも 2 割程度のコントラストの増加が見込まれ、微細パターンに有効であることが分かる。

【0026】なお、これまでは複数傾斜照明法を例にとって説明したが、本発明を例えば輪帯照明法に適用すると、例えば図 7 (a) に示すように、等価光源部 10 の輪帯状の光源からの光をそれぞれ入射面に垂直な方向、即ち光軸を中心とした円の接線方向に直線偏光する光に

変換すればよい。

【0027】次に、本発明の第 2 の照明光学装置によれば、例えば図 3 に示すように、傾斜光を形成するのに、光源からの照明光により偏心した 2 次光源が形成されている。その 2 次光源を例えば図 1 (a) の等価光源 10 とみなせば、上述の説明はそのまま本発明にも適用される。

【0028】

【実施例】以下、本発明の第 1 実施例につき図 3 及び図 4 を参照して説明する。本例は投影露光装置の照明光学系に本発明を適用したものである。図 3 は本実施例の投影露光装置の照明光学系を示し、この図 3 において、水銀ランプよりなる光源 20 から照明光が楕円鏡 21 で集光され、この集光された照明光がコリメータレンズ 22 を介してフライアイレンズ 23 (オブティカルインテグレータ) に入射する。フライアイレンズ 23 の射出側 (レチクル側) の焦点面には面状の 2 次光源が形成される。

【0029】フライアイレンズ 23 の射出端付近に光軸 AX に対して偏心した 4 個の開口が形成された空間フィルター 24 を設ける。また、この空間フィルター 24 の 4 個の開口のレチクル側 (又は光源 20 側でもよい) にそれぞれ偏光板 25 A ~ 25 D を被着する。但し、図 3 では偏光板 25 B 及び 25 C のみが現れている。図 4

(a) は図 3 の空間フィルター 24 をレチクル側から見た正面図、図 4 (b) は図 4 (a) の AA 線に沿う断面図であり、これら図 4 (a) 及び (b) に示すように、空間フィルター 24 には光軸 AX を中心として、 90° 間隔で 4 個の開口 24 a ~ 24 d が形成され、これら開口がそれぞれ偏光板 25 A ~ 25 D で覆われている。また、それら偏光板 25 A ~ 25 D の偏光方向はそれぞれ矢印で示すように、光軸 AX を中心とした円周の接線方向に設定されている。従って、その空間フィルター 24 の開口 24 a ~ 24 d から射出される照明光は、それぞれ光軸 AX を中心とした円周の接線方向にほぼ平行な方向に直線偏光している。

【0030】図 3 に戻り、空間フィルター 24 により光軸 AX に対して偏心した 4 個の 2 次光源が形成される。それら 4 個の 2 次光源から射出された照明光はそれぞれ偏光板 25 A ~ 25 D を通過した後に、コンデンサーレ

ンズ系 26 を経てレチクル 12 に入射する。尚、コンデンサーレンズ系 26 の前側焦点 (光源側焦点) 位置には、空間フィルター 24 (偏光板 25 A ~ 25 D) が設けられており、レチクル 12 のパターン形成面はコンデンサーレンズ系 26 に関して空間フィルター 24 の配置面とフーリエ変換の関係にある。この場合、例えば空間フィルター 24 の開口 24 b 及び 24 c から射出された主光線 27 B 及び 27 C はコンデンサーレンズ系 26 を経てそれぞれレチクル 12 上に光軸 AX に対して斜めに入射する。また、これら主光線 27 B 及び 27 C はそれぞれレチクル 12 に対する入射面 (紙面方向) に対して垂直な方向に直線偏光している。

【0031】このような照明光学系を使用すると、本発明の原理説明で説明したように、例えばレチクル 12 上に図 4 (a) の開口 24 a と 24 c とを結ぶ直線に対して平行又は垂直な方向に長いエッジを有するライン・アンド・スペースパターンが形成されている場合に、従来よりも良好なコントラストのもとでそのパターンを投影光学系 13 を通してウエハ 14 上に投影することができる。ここで、図 3 の装置では、フライアイレンズ 23 の入射側面と物体面 (レチクル 12 又はウエハ 14) とが共役に構成されており、フライアイレンズ 23 の射出側面 (2 次光源 10) と投影光学系 13 の瞳面 10 A とが共役に構成されている。なお、図 3 の構成の他に、フライアイレンズ 23 と空間フィルター 24 との間に別の大きな偏光板を配置し、空間フィルター 24 の 4 個の開口 24 a ~ 24 d の一部又は全部に $1/2$ 波長板を配置して、各 $1/2$ 波長板の回転角を調整するようにしてもよい。これによっても、図 4 (a) に示すような、光軸 AX を中心とする円周の接線方向に偏光した照明光が得られる。この場合、別の大きな偏光板の偏光方向によつては、 $1/2$ 波長板は空間フィルター 24 のすべての開口に設ける必要はない。

【0032】更に、例えば光源として直線偏光のレーザービームが射出されるようなレーザー光源を使用することにより、等価光源となる図 3 の空間フィルター 24 の全体を直線偏光の照明光で照明する場合には、空間フィルター 24 の 4 個の開口 24 a ~ 24 d の一部または全部に適当な回転方向の $1/2$ 波長板を設けるだけでよい。この場合、一部の開口に $1/2$ 波長板を設けるだけでもよいが、全部の開口に $1/2$ 波長板を設けるほうが照明のパラッキを低減する上で効果がある。このように $1/2$ 波長板を使用して偏光方向を調整した場合には、照明光の損失がないので照明効率が良い。

【0033】また、全体として円偏光の照明光を発生する装置を用いて、等価光源となる図 3 の空間フィルター 24 を照明する場合には、空間フィルター 24 の各開口に適当な回転方向の $1/4$ 波長板を設けることがよい。

【0034】次に、本発明の第 2 実施例につき図 5 を参照して説明する。図 5 は本例の投影露光装置を示し、こ

の図5において、光源20からの照明光は楕円鏡21、折り曲げミラー28及びインプットレンズ29を経てほぼ平行光束になる。その楕円鏡21と折り曲げミラー28との間にシャッター30を配置し、このシャッター30を駆動モーター31で閉じることにより、インプットレンズ29に対する照明光の供給を随時停止する。光源1としては、水銀ランプの外に、例えばKrFレーザー光等を発生するエキシマレーザー光源等を使用することができる。エキシマレーザー光源を使用する場合には、楕円鏡21～インプットレンズ29までの光学系の代わり

【0035】そして、インプットレンズ29から順に、4角錐型（ピラミッド型）の凹部を有する第1の多面体プリズム32及び4角錐型（ピラミッド型）の凸部を有する第2の多面体プリズム33を配置する。この第2の多面体プリズム33から射出される照明光は、光軸を中心として光軸の周囲に等角度で4個の光束に分割されている。

【0036】これら4個に分割された光束をそれぞれ第2群のフライアイレンズ34A、34B、34C及び34Dに入射させる。図5ではフライアイレンズ34A及び34Bのみが示されているが、図5の紙面に垂直な方向に光軸を挟んで2個のフライアイレンズ34C及び34Dが配置されている。そして、フライアイレンズ34Aから射出された光束は、レンズ系35A及び36Aよりなるガイド光学系を介してほぼ平行光束に変換されて第1群のフライアイレンズ37Aに入射する。同様に、第2群のフライアイレンズ34Bを射出した光束は、レンズ系35B及び36Bよりなるガイド光学系を介してほぼ平行光束に変換されて第1群のフライアイレンズ37Bに入射し、図示省略するも、第2群のフライアイレンズ34C及び34Dを射出した光束は、それぞれガイド光学系を介して第1群のフライアイレンズ37C及び37Dに入射する。

【0037】第1群のフライアイレンズ37A～37Dは光軸の回りに90°間隔で配置されている。第1群のフライアイレンズ37A～37Dのレチクル側焦点面にはそれぞれ面状の2次光源が形成されるが、それら2次光源の形成面にそれぞれ可変開口絞り38A～38Dを配置する。更に、これら可変開口絞り38A～38Dのレチクル側にそれぞれ偏光板39A～39Dを配置する。なお、図5では可変開口絞り13A、13B及び偏光板39A、39Bのみが現れている。

【0038】それら可変開口絞り38A～38Dから偏光板39A～39Dを透過して射出した照明光は、それぞれ補助コンデンサーレンズ40、ミラー41及び主コンデンサーレンズ42を経て適度に集光されてレチクル12をほぼ均一な照度で照明する。そのレチクル12のパターンが投影光学系13によりウエハステージWS上のウエハ14に所定の縮小倍率 β で転写される。それら

偏光板39A～39Dの偏光方向は、光軸AXを中心とする円周の接線方向に平行である。例えば可変開口絞り38Aから偏光板39Aを透過して射出される光束の主光線43Aは、紙面に垂直な方向に直線偏光した状態でレチクル12上に光軸AXに対して斜めに入射する。なお、図5に示した偏光板39A～39Dは、実質的に、補助コンデンサーレンズ40と主コンデンサーレンズとの合成系のコンデンサーレンズ系の前側焦点（光源側焦点）位置に設けられており、この位置は実質的に投影光学系13の瞳面10Aと共役である。

【0039】本例によっても、レチクル12上の所定の方向のライン・アンド・スペースパターンのウエハ14上の投影像のコントラストを改善することができる。更に、第1群のフライアイレンズ37A～37Dの他に第2群のフライアイレンズ34A～34Dが設けられているので、レチクル12上の照度の均一性が更に改善されている。なお、図5において、偏光板39A及び39Bはそれぞれ例えばリレー光学系の間の位置44A及び44Bに配置してもよく、更に他の位置に配置してもよい。また、光源20からの照明光が既に直線偏光であるような場合には、偏光板39A及び39Bの代わりに1/2波長板を使用してもよい。

【0040】次に、本発明の第3実施例につき図6及び図7を参照して説明する。本実施例は、先に説明した図3に示す第1実施例の空間フィルター24を変えて、図6(a)に示す如き輪帯状の開口240aを有する空間フィルター240をフライアイレンズ23の射出側に設けた例を示すものである。この空間フィルター240の配置により、フライアイレンズ23の射出側には、図6(a)に示す如く、光軸AXから偏心した輪帯状の2次光源45が形成され、この輪帯状の2次光源45からの光が、図3に示す如く、コンデンサーレンズ26、レチクル12を介して投影光学系13の瞳面10A（入射瞳面）に達する。ここで、説明を簡単にするために、レチクル12のライン・アンド・スペースパターンの回折作用による0次回折光と1次回折光との様子について考えると、この投影光学系13の瞳面10Aには、図6

(b)に示す如く、輪帯光源45と相似な輪帯状の0次回折光45Aと輪帯状の0次回折光45Aを横ずれさせた輪帯状の1次回折光45Bが形成される。

【0041】この場合、本例では図7(a)に示すように、等価光源部10の輪帯状の2次光源45から射出される照明光をそれぞれ光軸AXを中心とする円周の接線方向に偏光させる輪帯状の偏光板250が空間フィルター240上に設けられている。これにより、微細パターンに対して高コントラストの像を得ることができる。なお、図7(b)に示すように輪帯状光源を円弧状の各ゾーンに分ける開口を持つ空間フィルター240を用いて、各ゾーン上に偏光板250A～250Hを設けて、各ゾーンごとに光軸AXを軸とする円周の接線方向の直

線偏光の照明光となるようにしてもよい。

【0042】なお、本発明は上述実施例に限定されず本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0043】

【発明の効果】本発明によれば、物体に対して傾斜して入射する照明光が入射面に垂直な方向に偏光しているので、その物体上のパターンがその照明光の入射面に垂直な方向を長手方向とするライン・アンド・スペースパターンであるような場合に、投影光学系でその物体のパターンを投影したときにその像のコントラストを大幅に改善できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明による照明光学装置の原理の説明に供する等価光源を示す図、(b)は図1(a)の等価光源を使用した投影露光装置を示す概略構成図である。

【図2】本発明の原理の説明に供する図である。

【図3】本発明の第1実施例の投影露光装置の照明光学系を示す構成図である。

【図4】(a)は図3の空間フィルター24及び偏光板25A～25Dを示す正面図、(b)は図4(a)のA-A線に沿う断面図である。

【図5】本発明の第2実施例の投影露光装置を示す構成図である。

*【図6】(a)は本発明の第3実施例の等価光源及び空間フィルター240を示す図、(b)は空間フィルター240を用いた事による投影光学系13の瞳での回折光の様子を示す図である。

【図7】(a)は第3実施例の等価光源からの照明光の偏光状態を示す図、(b)は第3実施例の変形例の等価光源を示す図である。

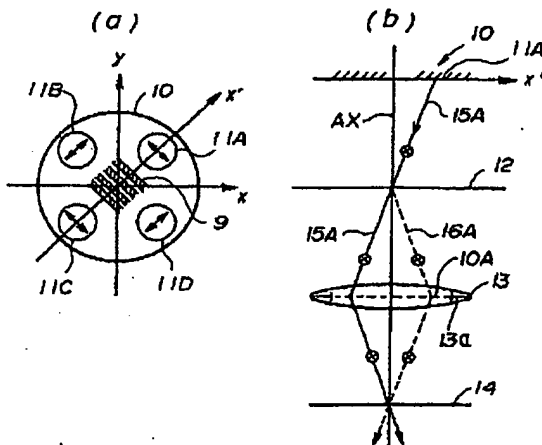
【図8】(a)は複数傾斜照明の等価光源を示す図、(b)は図8(a)の等価光源を用いた場合の投影光学系13の瞳での回折光の様子を示す図である。

【図9】複数傾斜照明で特定のパターンを照明した場合を示す図である。

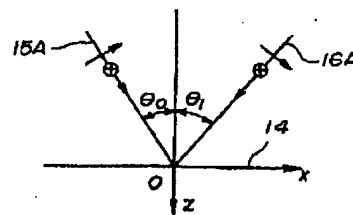
【符号の説明】

- 10 等価光源
- 11A～11D 小光源
- 12 レチクル
- 13 投影光学系
- 14 ウエハ
- 20 光源
- 22 コリメータレンズ
- 23 フライアイレンズ
- 24 空間フィルター
- 24a～24d 開口
- 25A～25D 偏光板
- * 26 コンデンサーレンズ系

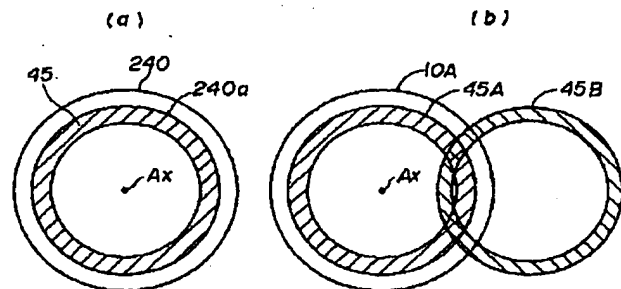
【図1】



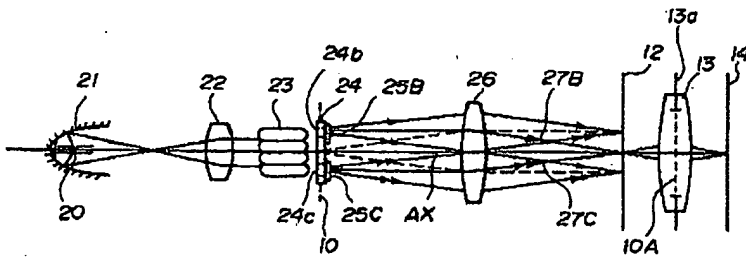
【図2】



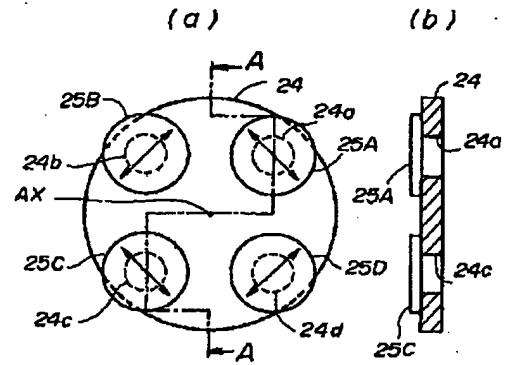
【図6】



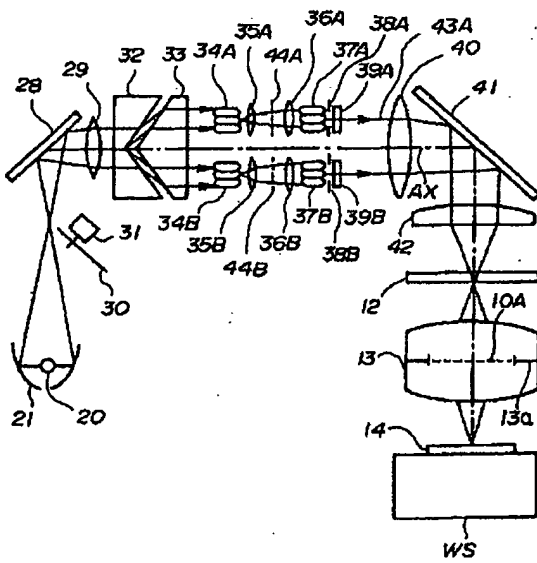
【図3】



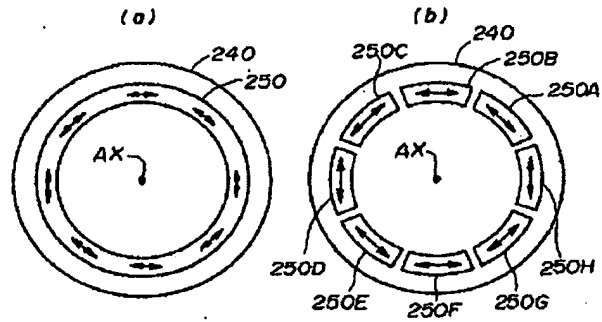
【図4】



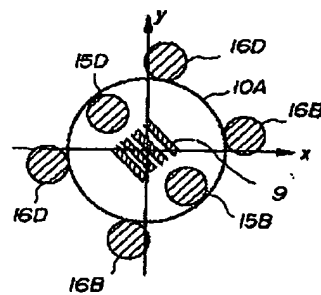
【図5】



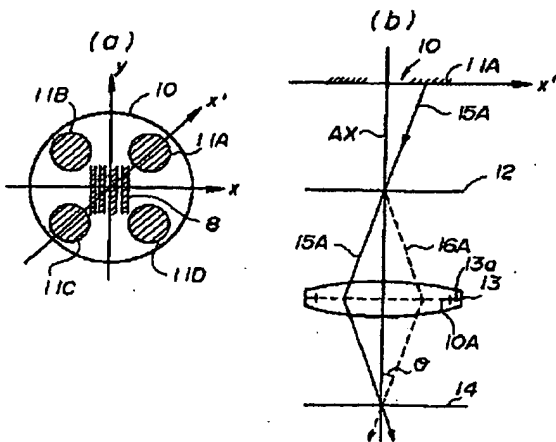
【図7】



【図9】



【図8】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)
H01L 21/027